

## **Titrálási görbék felhasználása a talajt érő savterhelések hatásának összehasonlító jellemzésére**

MURÁNYI ATTILA és RÉDLY LÁSZLÓNÉ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Az emberi tevékenység során a talajt érő savterhelések a talajok savanyodását — a talajsavanyúság kialakulását, illetve erősödését — okozhatják.

A talajsavanyodás mind a talaj egyensúlyi pH-értékének, mind tágabb értelemben a talaj „savanyúságtompító képességének” időben történő csökkenéseként definiálható. Az utóbbi — bizonyos határig — nem okvetlenül jár egyidejű pH-csökkenéssel (BREEMEN et al., 1984; KAUPPI et al., 1984).

Az elsősorban a felszíni talajrétegekre kiterjedő folyamat ma már egyre több országban a talajdegradáció egyik jelentős formájának tekinthető (Guidelines for the control of soil degradation, 1983).

A talajsavanyúság kialakulását természeti okok és emberi beavatkozások egyaránt előidézhetik. A főbb természeti okok (BOLT és BRUGGENWERT, 1978; BEAR, 1976; JENNY, 1961; STEFANOVITS, 1977) a következők:

- Savanyú kémhatású (semleges és lúgos mállástermékekben szegény) talajképző kőzet.
- A növényi élettevékenység során és a növényi maradványok elbomlásakor különböző mértékben végbemenő „savtermelő” folyamatok (a gyökérlégzés során és szerves anyagok lebomlásakor képződő  $\text{CO}_2$ ; telítetlen humuszsavak és egyéb szerves savak, savanyú bomlástermékek képződése).
- A semleges és lúgos kémhatású mállástermékek, illetve a talaj „savtompító komponenseinek” kilúgzódása a talajban végbemenő állandó (vagy uralkodó) lefelé irányuló vízmozgás következtében. Elsősorban sok csapadék mellett, a sík vagy enyhe lejtésű felszín miatti kis felszíni lefolyás, a talaj gyenge víztartó és nagy vízáteresztő képessége esetén.

Fenti hatások erőssége és egymáshoz viszonyított arányuk határozza meg a kémhatást kialakító anyagforgalmi folyamatokat és a talajok kémhatás szerinti nagy változatosságát eredményezi (STEFANOVITS, 1963; VÁRALLYAY et al., 1980).

Az egyre többféle és intenzívebb emberi beavatkozás közvetlen vagy közvetett hatása szintén számottevő:

- A mind nagyobb termések betakarításával, elsősorban nem karbonátos talajokon lehet jelentős a mozgékony Ca- és Mg-vegyületek mennyiségének csökkenése. Az agrotechnika (öntözés, drénezés és mélyművelés), illetve a

területhasználat, ezáltal a növényborítottság megváltozása, az említett talajokon fennálló kilúgzást elő is segítheti.

- Nem megfelelő műtrágyázási rendszer. A műtrágyaféleség helytelen megválasztása, savanyúan hidrolizáló vagy „fiziológiailag savanyú” műtrágyák nagy és túlzott adagú alkalmazása, a műtrágyázás nem megfelelő ideje, technológiája, illetve a savanyúságot közömbösítő anyagok (pl. mész) párhuzamos adagolásának elmulasztása (DEBRECZENI, 1985; PUSZTAI, 1977, 1979; VÁRALLYAY et al., 1986).
- Szennyvízzel, szennyvíziszappal és hulladékokkal a talajba juttatott savanyító anyagok.
- Légköri savas ülepedés. Ipari, városi közlekedési és egyéb légszennyeződések közvetett hatása folytán a talaj felszínére egyrészt közvetlenül jutnak savanyító anyagok, másrészt a növényre hulló anyagok egy része bemosódik vagy növényi maradványként kerül a talajba, ott válik a lebomlás során savanyító anyagok forrásává (HORVÁTH, 1981; MÉSZÁROS, 1984).

A talaj termékenységét gátló savanyúság meszezéssel csökkenthető, illetve szüntethető meg. Nyugat- és Észak-Európa szántóföldi művelés alatt álló savanyú és kilúgzott talajú területein, a rendszeres meszezés évszázadok óta az agrotechnika része, a legtöbb országban állami támogatást élvez. Emellett, az itt alkalmazott műtrágyázási rendszerek a megfelelő mészállapot fenntartását (meszezést vagy műtrágyázást) is magukban foglalják. Ezzel elejét veszik az intenzív műtrágyázás okozta talajsavanyodásnak is (PUSZTAI, 1985).

A savas ülepedés okozta másodlagos talajsavanyodásra és annak ökológiai következményeire észak- és nyugat-európai szerzők hívták fel elsőként a figyelmet az 1950-es években erdőterületeken, a fapusztulások kapcsán (In: Acidification today and tomorrow, 1982; ULRICH, 1981).

Ugyanakkor pl. a légköri savas ülepedés N- és S-tartalma — ha ez nem toxikus vegyületek formájában jut a talajba — növényi tápanyagul is szolgálhat (KOZÁK és MÉSZÁROS, 1971). Az egyes forrásokból származó savanyító hatás nagy karbonáttartalmú, illetve szódás-szoloncsák és szoloncsák-szolonyc talajok lúgos kémhatásának csökkentése szempontjából is előnyös lehet.

Másodlagos savanyodást műtrágyázási kísérletekben (KOZÁK, 1984; PUSZTAI, 1979), majd a rendszeres talajvizsgálatok alapján (BUZÁSNÉ et al., 1986), már Magyarországon is kimutattak, és a növénytermesztés szempontjából káros következményeit (terméscsökkenés, a műtrágyázás hatékonyságának csökkenése, növénytáplálkozási zavarok) is megfigyelték (FEKETE, 1985).

A fentiekből látható, hogy a különböző emberi beavatkozások hatására bekövetkező talajsavanyodás eltérő, mind mértékét, mind térbeli elterjedését, mind időbeni jelentkezését és következményeit tekintve. Viszonylag kevés, különböző részletességű és pontosságú adat áll rendelkezésre az egyes savanyító hatások mechanizmusáról, szerepéről, befolyásolhatóságának lehetőségeiről és mértékéről. Erre utalnak a kérdést sokszor leegyszerűsítő, a folyamatot túlhangsúlyozó vagy alábecsülő megállapítások a talajsavanyodással foglalkozó hazai közleményekben. Részben ugyancsak ezzel függnek össze a jelenlegi meszezési gyakorlat hiányosságai is (PUSZTAI, 1985).

A talajok savanyodásának mértékét, sebességét és a folyamat mechanizmusát meghatározza egyrészt az, hogy milyen forrásokból származó, milyen koncentrációjú és kémiai összetételű anyag kerül a talajra, és mekkora annak a talajba jutó, a felszínen elfolyó, illetve a növénybe kerülő hányada. A fentieket meghatározó másik igen fontos tényező a savas anyagokkal érintkező talajréteg tompító- (puffer-) képessége. A talajok tompítóképessége igen különböző lehet mind a savas, mind a lúgos tartományban, és elsősorban az alábbi tényezőktől függ (DI GLÉRIA et al., 1957; STEFANOVITS, 1977; VOZBUKAJA, 1968):

- a szilárd fázis tulajdonságai: kémiai összetétele (elsősorban a lúgosan hidrolizáló alkotórészek, karbonátok mennyisége); mechanikai összetétele; a finomdiszperz frakcióban előforduló agyagásványok és egyéb szervesetlen kolloidok mennyisége, minősége, állapota; a szerves kolloidok mennyisége, lebomlottsági foka, minősége, állapota; a talajkolloidok bázistelítettsége;
- a talajoldat koncentrációja, kémiai összetétele;
- a talajlevegő összetétele;
- a talaj szilárd, folyadék- és gázfázisának kölcsönhatásai, valamint az ezek következtében kialakuló pH-érték.

A savanyú hatásokkal szemben kifejtett pufferképességet elsősorban a karbonáttartalom és a talajkolloidok „lúgos protolízise” (DI GLÉRIA et al., 1957) biztosítja, a savanyodás előrehaladásával egymást követő különböző fizikai—kémiai reakciók útján (ULRICH, 1983).

A fent felsorolt folyamatok eredményeképpen kialakult tompítóképességet kísérleti úton az ún. tompító vagy titrálási görbékkel jellemezhetjük (BALLENEGGER és DI GLÉRIA, 1962; DI GLÉRIA et al., 1957; STEFANOVITS, 1977). Ismert mennyiségű talajból és vízből szuszpenzió-sorozatot készítünk, és a sorozat egyes tagjaihoz azonos végtérfogatban különböző mennyiségű savat illetve lúgot adunk, majd meghatározzuk az egyensúlyi szűrlet pH-értékét. A módszer több országban a mész javítóanyag adagjának meghatározására szolgáló konvencionális eljárás (Soils Bulletin, FAO 1970; BOLT és BRUGGENWERT, 1978). Ennek gondolatmenetét megfordítva használtuk az eljárást annak vizsgálatára, hogy adott savmennyiség milyen mértékű pH-csökkenést okoz különböző tulajdonságú talajoknál. Ezzel a magyar talajokat érő becsült savterhelések hatását kívántuk első lépésben jellemezni és összehasonlítani.

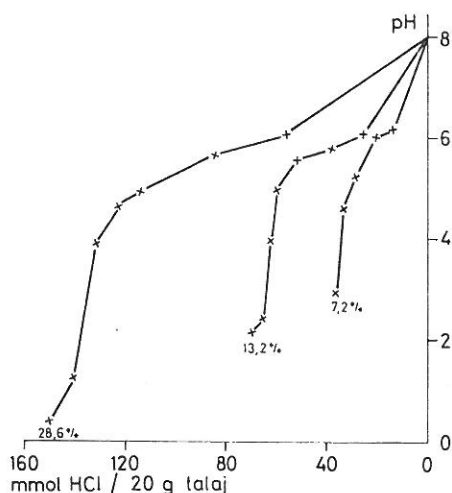
### Anyag és módszer

A kísérleti mintaanyag megválasztásánál meghatározó szempont volt, hogy az minél átfogóbban jellemezze a magyarországi talajokat. Az intézetünk talajbankjában tárolt minták az OTK, NAK S—R kísérletek, valamint különböző intézetek (Gabonakutató I., MTA TAKI, Szőlészeti K. I., MTA Mezőgazdasági K. I., KATE, DATE) kísérleti területeiről, továbbá mezőgazdasági termelősövetkezetekből származnak. A mintavétel a kísérletek kontrollparcelláinak szántott rétegéből történt. Az ország főbb természeti tájait reprezentáló 36 talajminta mintegy 18 talajtípust képvisel és a fizikai és kémiai talajtulajdonságok széles tartományát jellemzi.

A talajok titrálási görbéinek felvétele — a természetes viszonyok megközelítése és a kompetitív ioncsere-folyamatok kiküszöbölése céljából — csak savat tartalmazó,



$\text{CO}_2$  fejlődést mutató talaj titrálási görbét mutatjuk be. (A  $\text{CO}_2$  fejlődéssel egyenértékű  $\text{CaCO}_3$ -tartalom a 25. sz. talajnál 0,7%, a 2. sz. talajnál 1,3%). Már e talajoknál is kicsi a sav hatására bekövetkező pH-csökkenés, a pH-változás a savdag függvényében kis meredekségű egyenessel jellemezhető. A pH-csökkenés mértékét, a talajok pufferoló képességét döntően meghatározó tényező a talaj karbonáttartalma; az egyéb talajtulajdonságok szerepe ez esetben alárendelt jelentőségű. Az 1. ábránál



2. ábra

Különböző karbonáttartalmú talajok titrálási görbéi. Vízszintes tengely: savdag, mmol HCl/20 g talaj

sokkal szélesebb savdag-tartományban bemutatva három másik karbonátos talaj titrálási görbét (2. ábra) látható, hogy a karbonáttartalom semlegesítését követően a pufferolás mechanizmusa alapvetően megváltozik, meredek pH-csökkenés tapasztalható, a talaj pufferképessége hirtelen lecsökken. Egy hektár területű, 10 cm mélységű,  $1500 \text{ kg/m}^3$  térfogattömegű talaj 1,0%-os kalcium-karbonát-tartalma — teljes semlegesítést feltételezve — 302 kmol hidrogéniont semlegesíthet. A karbonátos talajok tehát a karbonáttartalommal egyenértékű savmennyiségnél kisebb savterhelést képesek pufferolni.

#### *Erősen savanyú láptalaj*

A tiborszállási erősen savanyú ( $\text{pH} < 4,5$ ) láptalajminta (15. sz. talaj) pufferoló képességét a nagy szervesanyag-tartalom ( $> 10\%$ ) határozza meg. A karbonáttartalmú talajokhoz hasonlóan a pH-csökkenés kicsi, és a görbe lefutása igen széles savdag-tartományban lineárisnak tekinthető. Alapvető különbség azonban, hogy e talaj kezdeti pH-értéke alacsony ( $\text{pH}_0$ : 3,8 y<sub>1</sub>: 55,7). A savterhelések hatása — az eredeti hidrogénion-egyensúlyok meghatározó volta miatt (V%: 32) — nem jelentős, az erősen savanyú láptalajok tovább-savanyodásra nem érzékenyek.

*Nem karbonátos ásványi talajok*

A nem karbonátos ásványi talajok titrálási görbéi — a savbázis titrálási görbékhez hasonlóan — csökkenő meredekségűek, az elsőként adott savadagok eredményezik a legnagyobb pH-csökkenéseket, további savmennyiség hatására a pH-csökkenések mérséklődnek.

A karbonátos talajokkal és az erősen savanyú láptalajjal ellentétben, ezeknél a talajoknál kis savterhelések is jelentős pH-csökkenést okozhatnak. E talajok

*I. táblázat*

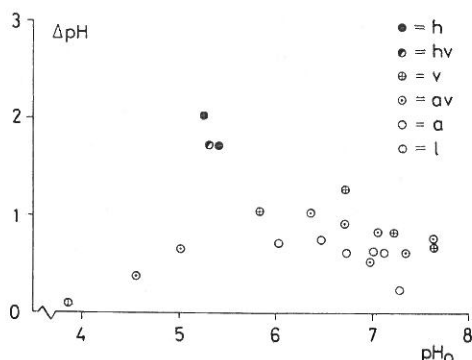
**A nem karbonátos ásványi talajok pufferkapacitása és egyes tulajdonságai**

(1) Talajminta sorszám, a mintavétel helye	(2) Talajtípus	$\Delta T$	pH <sub>0</sub>	(3) Humusz	(4) Agyag	(5) V
				%		
24. Ragály	a) agyagbemosódásos barna erdőtalaj	0,018	4,55	3,4	31,8	32,3
31. Putnok	a) agyagbemosódásos barna erdőtalaj	0,118	5,03	2,0	31,3	59,4
12. Nyírlugos	b) kovárványos barna erdőtalaj	—0,020	5,28	0,4	4,8	25,3
7. Homokszentgyörgy	a) agyagbemosódásos barna erdőtalaj	0,028	5,34	1,1	9,4	31,4
13. Nyíregyháza	c) barna erdőtalaj	0,076	5,42	0,7	7,4	30,9
4. Nagykanizsa	a) agyagbemosódásos barna erdőtalaj	0,217	5,87	1,5	15,7	57,1
22. Karcag	d) sztyeppesedő réti szolonyec	0,359	6,04	4,0	44,8	87,3
28. Szarvas	e) öntéstalaj	0,409	6,39	1,9	36,8	92,2
14. Kompolt	f) csernozjom barna erdőtalaj	0,481	6,47	3,3	46,0	87,9
32. Szentgyörgyvölgy	g) pszeudoglejes barna erdőtalaj	0,450	6,65	1,2	18,4	63,0
30. Gagyvendégi	a) agyagbemosódásos barna erdőtalaj	0,502	6,72	2,0	27,5	75,3
33. Hosszúhát	h) réti talaj	0,567	6,73	3,4	44,5	92,8
19. Hajdú-böszörmény	i) réti szolonyec	0,626	7,00	6,4	36,3	98,5
23. Sarkad	e) öntéstalaj	0,625	7,04	3,9	53,3	95,1
20. Magyaregregy	c) barna erdőtalaj	0,614	7,09	1,0	36,4	90,8
27. Eger	j) fekete nyirok	0,643	7,14	2,9	46,9	85,5
1. Kenyeri	a) agyagbemosódásos barna erdőtalaj	0,674	7,24	1,8	15,4	89,0
26. Etes	a) agyagbemosódásos barna erdőtalaj	0,761	7,31	3,3	44,7	77,6
21. Hajdúszoboszló	k) csernozjom	0,698	7,35	4,8	34,4	100
29. Martonvásár	l) erdőmaradványos csernozjom	0,764	7,68	2,3	30,3	100
3. Keszthely	m) Ramann-féle barna erdőtalaj	0,778	7,72	1,6	21,9	90,2

$\Delta T = 0,25$  mmol HCl talajszuszpenzióhoz adagolás után a talajjal és a talaj nélkül végzett titrálási görbék alatti területek különbsége (pufferkapacitás)

pH<sub>0</sub> = a vizes talajszuszpenzió tisztá oldatának pH-ja

pufferképessége az egyes talajok titrálási görbéi és a talaj nélküli titrálási görbe közötti terület különbségeként (STEFANOVITS, 1977, VOZBUCKAJA, 1968) is értelmezhető. A titrálási görbék alatti terület nagyságát számítógépes integrálással határoztuk meg, és kiszámítottuk a területkülönbséggel jellemzett pufferkapacitás-értékeket (1. táblázat). A táblázatból kitűnik, hogy az így számított értékek az agyag- és humusztartalommal, valamint a bázistelítettség-értékekkel szoros kétváltozós korrelációt nem mutatnak. Ez arra utal, hogy a pufferképességet nem az egyes talajtulajdonságok, hanem azok integrált hatása szabja meg. A titrálás során a hidrogénionok hatása — a talaj egyes



3. ábra

Nem karbonátos talajok pH csökkenése ( $\Delta\text{pH}$ ) az eredeti pH ( $\text{pH}_0$ ) függvényében 0,25 mmol HCl/20 g talaj esetén. h: homok; hv: homokos vályog; v: vályog; av: agyagos vályog; a: agyag; l: láp

alkotórészein keresztül, azok minőségétől és mennyiségétől függően — különböző módon és eltérő mértékben érvényesül és változtatja meg az egész talaj pH-értékét.

Az 1. ábrán a nem karbonátos ásványi talajok közül három barna erdőtalaj (4., 12. és 14. sz. minták) titrálási görbéje szerepel. E kiválasztott talajokban az agyagtartalmak, humusztartalmak és a bázistelítettség értékek aránya hozzávetőlegesen 1:3:9. Ennek következtében a titrálási görbék is eltérők. A két másikhoz viszonyítva legnagyobb agyag- és humusztartalmú csernozjom barna erdőtalaj (14. sz.) sokkal kevésbé érzékeny a savterhelésre, mint a homok mechanikai összetételű, kis szervesanyag-tartalmú kovárványos barna erdőtalaj (12. sz.).

A talaj érzékenységét a savterhelésre a mért pH-csökkenés nagyságával értelmeztük. A 3. ábrán feltüntettük a legkisebb alkalmazott savadag (0,25 mmol HCl/20 g talaj) hatására bekövetkező pH-csökkenéseket az eredeti pH függvényében. Ebből is látható, hogy különösen a nem karbonátos gyengén savanyú ásványi (homok, homokos vályog) talajok a legérzékenyebbek savanyodásra. Kísérleti körülményeink között a pH-csökkenés az alkalmazott savdózis hatására a talajoknál meghaladja az 1,0 pH egységet.

## 2. Savterhelések Magyarországon

Az emberi tevékenység következtében fellépő talajsavanyodás jellemzéséhez elengedhetetlen a savterhelések hozzávetőleges nagyságának ismerete. A savterhelés



két fő forrása az ipari eredetű nedves és száraz savas ülepedés és a mezőgazdaságban felhasznált egyes műtrágyák.

Magyarországon a csapadék átlagos összetétele — automata csapadék-mintavevőkkel gyűjtött minták alapján — ismert (MÉSZÁROS, 1984). E szerint a csapadék átlagos pH-ja 4,5 és mennyisége 573 mm, az ebből számítható savterhelés 0,18 kmol/ha/év. A savas kén- és nitrogénvegyületek összes (száraz + nedves) ülepedése, háttér körülmények között, Magyarországon maximálisan 2,0 kmol/ha/év (HORVÁTH és MÉSZÁROS, 1985).

A műtrágyából származó savterhelés nagysága a különböző műtrágyák esetén eltérő. A N-műtrágyák savanyító hatására vonatkozó irodalmi adatokat SARKADI (1975) gyűjtötte össze, feltüntetve, hogy az egyes szerzők szerint 1 kg N hatóanyag közömbösítéséhez mennyi kalcium-karbonát szükséges. Az ammónium-nitrát esetén TURCSIN (1960), SESZTAKOV (1961) és KUNDLER (1970); a karbamid esetén TURCSIN (1960), ANDREWS, valamint PIERRE (In: TISDALE és NELSON, 1966) és KUNDLER (1970); az ammónium-szulfát esetén TURCSIN (1960), SESZTAKOV (1961), ANDREWS, valamint PIERRE (In: TISDALE és NELSON, 1966) és KUNDLER (1970) adatait egymással egyenértékűnek tekintettük, és az adott műtrágyára vonatkozó  $\text{CaCO}_3$ -mennyiségek átlagaiból számítottuk ki a becsült átlagos savterhelések nagyságát. A 2. táblázatban megadott értékeket az 1983-ban 1 hektár szántó-, kert-, gyümölcsös- és szőlőterületre vonatkozó átlagos műtrágyadózis (Mezőgazdasági statisztikai zsebkönyv, 1985) figyelembevételével határoztuk meg. Az egyes N-műtrágyák 1979/80, 1980/81, 1981/82, 1982/83 évi felhasználásának arányát a FAO adatai alapján (Fertilizer yearbook, 1984) számítottuk ki, és ezek átlagait ugyancsak feltüntettük a 2. táblázatban. A szuperfoszfát maximum 5,5% szabad savat tartalmazhat (ALMÁSSY et al., 1977), az ennek alapján becsült átlagos savterhelést az 1983-ban alkalmazott átlagos P-műtrágyadózist figyelembe véve határoztuk meg.

A 2. táblázat adatai egyértelműen azt szemléltetik, hogy a hazánkban felhasznált N-műtrágyák döntő többségének potenciális savterhelése nagyságrendileg meghaladhatja a savas esőből származó savterhelést.

### 3. A savstressz hatásának jellemzése titrálási görbékkel

A hidrogénionok minden esetben hatást gyakorolnak az egyes talajkomponensekre, noha ez nem mindig eredményez analitikailag érzékelhető változást. Ez indokolja, hogy a savstressz nagyságát a becsült átlagos évi savterhelés nagyságával, a 2. táblázat adataival jellemezzük. Az 1. ábrán szemléltetjük az 1 hektár területű, 20 cm mélységű, 1500 kg/m<sup>3</sup> térfogattömegű talajt 10 év alatt érő savterhelésnek megfelelő HCl mmol értékeket. A fellépő pH-csökkenés a talajtól, a savterheléstől, a lezajló fizikai—kémiai reakcióktól függően igen különböző lehet. A karbonátos talajok még kis kalciumkarbonát-tartalom esetén is kompenzálni tudják a savanyító műtrágyák hatását. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a felszíntől karbonátos talajoknál, azaz a magyarországi talajok 40%-ánál (VÁRALLYAY et al., 1980) pH-csökkenés veszélyével nem kell számolni. Az erősen savanyú láptalajoknál a további pH-csökkenés ugyancsak igen kicsi, további savanyodás nem várható.

A magyarországi talajok 56%-a (VÁRALLYAY et al., 1980) gyengén, illetve erősen savanyú kémhatású, ezek a savanyodásra többé vagy kevésbé érzékenyek. Látható az



2. táblázat  
Becsült savterhelések Magyarországon

(1) Savterhelés forrása			(2) Becsült átlagos savterhelés mértéke, kmol HCl/ha/év	(3) Közömbösíté- séhez szükséges CaCO <sub>3</sub> , kg/ha***
a) NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> -műtrágya	118 kg N/ha*	56,1%**	5,0	252
b) Karbamid	118 kg N/ha*	20,5%**	5,7	286
c) Ammónium-szulfát	118 kg N/ha*	0,6%**	13,7	685
d) Szuperfoszfát	78 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha*		0,5	24
e) Savas eső	573 mm		0,18	9
f) Maximális savas ülepedés			2,0	100

\* Magyarország szántó-, kert-, gyümölcsös és szőlőterületén felhasznált átlagos műtrágya-hatóanyag 1983-ban (Mezőgazdasági statisztikai zsebkönyv, 1985)

\*\* A N-műtrágyák felhasználásának átlagos aránya (Fertilizer Yearbook, 1984)

\*\*\* in: SARKADI (1975)

1. ábrán, hogy nem karbonátos ásványi talajoknál mind a 10 éves maximális savas ülepedéssel, mind a rendszeresen adagolt N<sub>118</sub>P<sub>78</sub> kg/ha műtrágyával egyenértékű HCl mennyiséggel (kísérleti körülményeink között!) jelentős pH-csökkenés idézhető elő. A felszíntől karbonátos talajok területi arányát (40%) összehasonlítva a savanyító hatású műtrágyák felhasználásának arányával (77%) az a következtetés vonható le, hogy vannak az országban olyan területek, ahol nem megfelelő műtrágyázási rendszer mellett a talajsavanyodás néhány év alatt számottevő lehet.

A pH csökkenésével a talaj alapvetően fontos tulajdonsága, a talajkémiai folyamatok egyik meghatározó, a talajtermékenységet is befolyásoló tényezője változik meg.

Számításaink során átlagos adatokat vettünk figyelembe, amelyek nem reprezentálják az előforduló savterhelések térbeli megoszlását és időbeni dinamikáját. A valóságban az átlagosnál sokkal nagyobb savterhelések is előfordulhatnak (pl. nem körültekintő módon végzett nagyadagú műtrágyázás, nem egyenletes műtrágya-kiszórás, vagy a kibocsátó környékén rendszeres, nagy mennyiségű savas ülepedés esetén stb.). Munkánkban 20 cm mélységű talajréteggel számoltunk. Figyelemmel kell lenni azonban arra, hogy a savas anyagok hatására bekövetkező talajdegradációs folyamat a talaj legfelső néhány centiméterében a legintenzívebb.

A végzett kísérletek és számítások is bizonyítják a talajsavanyodás problémájának jelentőségét. Ezért tartjuk szükségesnek a továbbiakban a talajsavanyodás folyamatainak részletes vizsgálatát, az azokat meghatározó és befolyásoló tényezők hatásának és kölcsönhatásának elemzését, valamint a talajt érő savterhelések és ezek talajtani hatásait regisztráló monitoring rendszer kialakítását.

## Összefoglalás

A talajokat érő savterhelések hatását kívántuk jellemezni és összehasonlítani. Kísérleteink során 36, a magyarországi talajokat reprezentáló, különböző fizikai és kémiai tulajdonságú minta titrálási görbéit vettük fel.

A karbonátos, az erősen savanyú láp- és a nem karbonátos ásványi talajok titrálási görbéi — a savsemlegesítés eltérő mechanizmusa miatt — különböztek egymástól. A nem karbonátos ásványi talajok esetén a sav hatását nem az egyes talajtulajdonságok, hanem azok integrált hatása szabja meg. Kiszámítottuk a becsült átlagos savterhelések mértékét Magyarországon és megállapítottuk, hogy a hazánkban alkalmazott N-műtrágyák döntő többségének potenciális savterhelése nagyságrendileg meghaladhatja a savas ülepedésből származó savterhelést. A titrálási görbékben is feltűntettük a 10 év alatti becsült átlagos savterheléseknek megfelelő savmennyiségeket. Ennek alapján megállapítható, hogy a magyarországi talajok 40%-át képviselő, felszíntől karbonátos talajok, valamint az erősen savanyú láptalajok nem érzékenyek a savanyodásra. A savanyító hatású műtrágyák felhasználásának arányából következik viszont, hogy vannak olyan területek, ahol — esetenként néhány év alatt is — a talajsavanyodással számolni kell nem megfelelő műtrágyázási rendszer alkalmazása esetén.

## Irodalom

- Acidification today and tomorrow, 1982. A Swedish study prepared for the 1982 Stockholm Conference on the acidification of the environment. Ministry of Agriculture, Stockholm.
- ALMÁSSY GY., MÁTÉ F. & ZÁDOR GY., 1977. Műtrágyák. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- BALLENEGGER R. & DI GLÉRIA J. (Eds.) 1962. Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- BEAR, F. E. (Ed.), 1976. Chemistry of the soil. 2nd ed. Oxford and IBH Publ. Co. New Delhi.
- BOLT, G. H. & BRUGGENWERT, M. G. M. (Eds.), 1978. Soil chemistry. A. Basic elements. Elsevier, Amsterdam.
- BREEMEN, VAN N., DRISCOLL, C. T. & MULDER, J., 1984. Acidic deposition and internal proton sources in acidification of soils and waters. *Nature* (London). **307**. 599—604.
- BUZÁS I-NÉ, CSERNÁTONY CS-NÉ & HERCEG A., 1986. A magyarországi talajok pH csökkenése. *Agrokémia és Talajtan*. **35**. 63—71.
- DEBRECZENI, B., 1985. Műtrágya, talaj és növénykapcsolat. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely, 12—37. NEVIKI, Veszprém.
- DI GLÉRIA J., KLIMES-SZMIK A. & DVORACEK M., 1957. Talajfizika és talajkolloidika. Akad. Kiadó. Budapest.
- FEKETE A., 1985. Talajsavanyodás agrokémiai és agronómiai kérdései. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 120—127. NEVIKI, Veszprém.
- Fertilizer yearbook, 1984. **33**. FAO Rome.
- Guidelines for the control of soil degradation, 1983. UNEP-FAO. Rome.
- HORVÁTH L., 1981. A csapadékvíz kémiai összetétele Magyarországon. *Időjárás*. **85**. (4) 201—212.
- HORVÁTH L. & MÉSZÁROS E., 1986. Savas ülepedés Magyarországon. *Időjárás*. **90**. (megjelenés alatt).

- JENNY, H., 1961. Reflections on the soil acidity merry-go-round. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **25**. 428—432.
- KAUPPI, P. et al., 1984. Acidification of forest soils. A model for analyzing the impact of acidic deposition in Europe. Version II. Collaborative paper. IIASA. Vienna.
- KOZÁK M. et al., 1984. Az intenzív műtrágyázás savanyító hatása. In: A talajtermékenység fokozása. XXV. Georgikon Napok, Keszthely. 231—236. KATE. Keszthely.
- KOZÁK M. & MÉSZÁROS E., 1971. Magyarországi csapadékvizek kémiai összetétele és mezőgazdasági jelentősége. *Agrokémia és Talajtan*. **20**. 329—352.
- KUNDLER, P. et al., 1970. Mineraldüngung. VEB Deutsch. Landw. Berlin.
- Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyv, 1985. KSH. Budapest.
- MÉSZÁROS E., 1984. Savas esők Magyarországon. *Magyar Tudomány*. **29**. 529—536.
- PUSZTAI A., 1977. Talajaink elsavanyodása és a meszezés. *Magyar Mezőgazdaság*. **44**. (32) 6—7.
- PUSZTAI A., 1979. A tartós és intenzív kemizáció hatása a talajok reakcióviszonyaira és néhány egyéb tulajdonságára. Az intenzív műtrágyázás hatása a talaj termékenységre. (Ankét) MTA TAKI.
- PUSZTAI A., 1985. A talajok fokozódó elsavanyodásának okairól és következményeiről. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 290—295. NEVIKI. Veszprém.
- SARKADI J., 1975. A műtrágyaigény becslésének módszerei. *Mezőgazd. Kiadó. Budapest*.
- SESTAKOV, A. G., 1961. *Agrokémia. Mezőgazd. Kiadó. Budapest*.
- Soils Bulletin, 1970. FAO. Rome.
- STEFANOVITS P., 1963. Magyarország talajai. *Mezőgazd. Kiadó. Budapest*.
- STEFANOVITS P. (Ed.), 1977. Talajvédelem, környezetvédelem. *Mezőgazd. Kiadó. Budapest*.
- TISDALE, S. L. & NELSON, W. L., 1966. A talaj termékenysége és a trágyázás. *Mezőgazd. Kiadó. Budapest*.
- TURCSIN, F. V., 1960. Szoderzsanie vodü i pitatelnüh vescsesztv v raszternijah. In: Szpravocsnik po mineralnüm udobrenijam. Szelhozgiz. Moszkva.
- ULRICH, B. Z., 1981. Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. *Z. Pflanzenernähr u. Bodenk.* **144**. 289—305.
- ULRICH, B. Z., 1983. Soil acidity and its relation to acid deposition. In: Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. ULRICH, B. and PANKRATH, J. (Eds.). 127—146. D. Reidel Publ. Co. Stuttgart.
- VÁRALLYAY GY. et al., 1980. Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. II. *Agrokémia és Talajtan*. **29**. 35—76.
- VÁRALLYAY GY., RÉDLYI L.-NÉ & MURÁNYI A., 1986. A savas ülepedés hatása a talajokra Magyarországon. *Időjárás*. **90**. (megjelenés alatt).
- VOZBUCKAJA, A. E., 1968. Himija pocsvü. Izd. Vüszsaja Skola. Moszkva.

*Érkezett: 1986. február 4.*

## Comparative Studies on the Effect of Acid Loads on Hungarian Soils

A. MURÁNYI and M. RÉDLY

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

### Summary

The estimated effects of acid loads on different soils were characterized and compared. Thirty-six soil samples representing typical Hungarian soils with different chemical and physical properties were selected. The samples were collected from the ploughed layer of the soils.

20 g soils was equilibrated with acid solutions (0—1.75 mmol HCl/50 ml) by shaking. After 24 hours the pH values of the solutions were measured and the titration curves were plotted.

The titration curves of calcareous, strongly acidic peat and non-calcareous mineral soils were fundamentally different due to the different mechanisms of acid neutralization. In non-calcareous mineral soils the characteristics of the titration curves are not determined by a single dominant soil property, they are influenced by the integrated effect of a number of soil properties.

The range of the different acid loads in Hungary was estimated. The potential acid loads of the applied N-fertilizers were found to be much higher than that of acid deposition.

The estimated average acid loads in ten years were compared with the experimental data. On the basis of the titration curves it was concluded that soils calcareous from the top, representing 40% of the soil cover of Hungary, as well as strongly acidic peat soils are not sensitive to acid loads. In comparison, the proportion of acidifying N fertilizers used in Hungary is higher (70%), consequently there are such territories where inappropriate fertilization can cause a significant decrease in soil pH.

*Table 1.* The "buffer capacity" and some relevant properties of non-calcareous soils. (1) No. of profile and location. (2) Soil types: a) lessivated brown forest soils; b) "kovárvány" brown forest soil (sandy brown soil with thin interstratified layers of colloid and sesquioxide accumulation); c) brown forest soil; d) meadow solonetz turning into steppe formation; e) alluvial soils; f) chernozem brown forest soil; g) pseudogley; h) meadow soil; i) meadow solonetz; j) erubase soil; k) chernozem; l) chernozem soil with forest; m) brown earth (braunerde). (3) Humus content. (4) Clay content. (5) Base saturation.  $\Delta T$  = the "buffer capacity" interpreted as the difference of the areas under the titration curve of the soil and that of the blank solution (up to 0.25 mmol HCl/20 g soil);  $pH_o$  = the original  $pH_{H_2O}$ .

*Table 2.* The estimated acid loads in Hungary. (1) The source of the acid load; a)  $NH_4NO_3$  fertilizer; b) urea; c)  $(NH_4)_2SO_4$  fertilizer; d) superphosphate; e) acid rain; f) maximum acid deposition. (2) Estimated average acid load, kmol HCl/ha/yr. (3) The quantity of  $CaCO_3$  necessary for neutralization, kg/ha. \*Fertilizer use in Hungary in 1983, kg active substance/ha agricultural area (Agric. Statistical Yearbook, 1985). \*\*The average proportion of different N fertilizers used in Hungary (Fertilizer Yearbook, 1984).

*Fig. 1.* Titration curves of some selected soils of different properties. a) blank solution; b) calcareous soils; c) strongly acidic peat soil; d) non-calcareous mineral soils; e) urea + superphosphate (in 10 years); f)  $NH_4NO_3$  + superphosphate (in 10 years); g) maximum acid deposition (in 10 years). Horizontal axis: mmol HCl/20 g soil. A: clay; V: loam; H: sand.

*Fig. 2.* Titration curves of some calcareous soils with different  $\text{CaCO}_3$  contents. Horizontal axis: mmol HCl/20 g soil

*Fig. 3.* The pH decrease of non-calcareous soils caused by 0.25 mmol HCl/20 g soil. h: sand; hv: sandy loam; v: loam; av: clayey loam; a: clay.

## Использование кривых титрования для сравнительной оценки кислотной нагрузки на почву

А. МУРАНИ и М. РЭДЛИ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт

### Резюме

Оценили и сравнили влияние кислотной нагрузки на почвы. В ходе опытов сняли кривые титрования 36-ти образцов, взятых из пахотных горизонтов с различными физическими и химическими свойствами, репрезентирующих венгерские почвы.

К водным почвенным суспензиям в одинаковых объемах прибавляли различные количества кислоты и после установления равновесия при одинаковых температурах измеряли величины pH равновесных растворов. Кривые титрования карбонатных, сильнокислых болотных и некарбонатных минеральных почв значительно отличались друг от друга. В случае некарбонатных минеральных почв влияние кислоты определяется не отдельными свойствами почв, а их интегральным влиянием.

Рассчитали среднюю оценку величин кислотной нагрузки на почвы Венгрии и показали, что размеры потенциальной кислотной нагрузки большинства используемых азотных минеральных удобрений (если одновременно с внесением этих удобрений не проводят известкования, или оно не отвечает требованиям) превышают размеры кислотной нагрузки за счет кислых дождей.

На кривых титрования обозначили и количества кислоты, соответствующие средней кислотной нагрузке, оцененной за 10 лет. На основе этого можно утверждать, что 40% венгерских почв, особенно почвы карбонатные с поверхности и сильнокислые болотные почвы, не чувствительны к подкислению.

Если сравнить соотношение почв не чувствительных к подкислению с соотношением использования подкисляющих минеральных удобрений (77%) то из этого следует, что на отдельных территориях — в некоторых случаях всего за несколько лет — можно ожидать подкисления почв за счет несоответствующей системы внесения минеральных удобрений.

*Табл. 1* Буферная способность и некоторые свойства некарбонатных минеральных почв. (1) Порядковый номер образца, место взятия образца. (2) Тип почвы. а) илимеризованная бурая лесная почва; б) коварванная бурая лесная почва; с) бурая лесная почва; d) остепняющийся луговой солонец; е) аллювиальная почва; f) черноземовидная бурая лесная почва; g) псевдоглеевая бурая лесная почва; h) луговая почва; i) луговой солонец; j) черный нирок; k) чернозем; l) лесостаточный чернозем; m) бурозем по Раманну. (3) Гумус в %. (4) Содержание глины, %. (5) V%.  $\Delta T$  = разницы площадей (буферирующий объем) под кривыми титрования, проведенного после добавления к суспензии 0,25 ммол соляной кислоты, с почвой и без почв.  $pH_0$  = pH водной суспензии ( $pH_{H_2O}$ ).

Табл. 2. Оцененные кислотные нагрузки на почвы Венгрии. (1) Источник кислотной нагрузки. а) минеральное удобрение  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; б) мочевина; с) сернокислый аммоний; d) суперфосфат; е) кислые дожди; f) максимальное количество осаждающегося кислого материала. (2) Средняя оцененная кислотная нагрузка, ммоль  $\text{HCl}/\text{га}/\text{год}$ . (3) Количество извести, необходимой для нейтрализации, кг/га. \*Среднее количество действующих начал минеральных удобрений, использованных в Венгрии в 1983 году на пахотных землях, в садах и виноградниках, под овощные культуры (Сельскохозяйственный статистический справочник, 1985.) \*\*Среднее соотношение использования азотных минеральных удобрений (Fertilizer yearbook, 1984).

Рис. 1. Кривые титрования для почв с различными свойствами. а) без почвы; б) карбонатные почвы; с) сильно кислые болотные почвы; d) бескарбонатные минеральные почвы; е) мочевина + суперфосфат (десять лет); f)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  + суперфосфат (десять лет); g) максимальное осаждение кислого материала (10 лет); А: глина; В: суглинок; Н: песок. По горизонтальной оси: дозы кислоты, ммоль  $\text{HCl}/20$  г почвы.

Рис. 2. Кривые титрования почв, содержащих различное количества карбоната кальция. По горизонтальной оси: доза кислоты, ммоль  $\text{HCl}/20$  г почвы.

Рис. 3. Снижение величины рН ( $\Delta\text{pH}$ ) бескарбонатных почв в зависимости от исходного рН ( $\text{pH}_0$ ) в случае 0,25 ммоль  $\text{HCl}/20$  г почвы. h: песок; hv: легкий v: суглинок; av: тяжелый суглинок; а: глина; l: болото.